

# Detectores de Luz

---

U.Barres - A.Fauth - A.Machado - A.Massafferri  
CBPF UNICAMP UNICAMP CBPF

# Detectando a luz

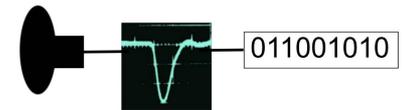
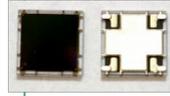
Ingredientes básicos:

- Energia da luz a ser detectada  
(Comprimento de onda)
- Meio de interação

P&D

DETECTOR:

- Foto sensor  
(PMT, APD, **SiPM**...)



Crosscheck  
-Simulação

Processamento de  
dados e Análise e  
-Software dedicado

-Eletronica de leitura  
-Sinais elétricos digitalizados

# Detectando a luz

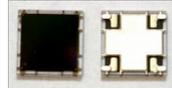
Ingredientes básicos:

- Energia da luz a ser detectada  
(Comprimento de onda)
- Meio de interação

P&D

DETECTOR:

- Foto sensor  
(PMT, APD, **SiPM**...)



Fonte de luz



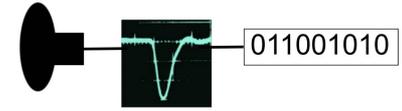
Foto detector



Foto sensor



Análise



Crosscheck  
-Simulação

Processamento de  
dados e Análise e  
-Software dedicado

-Eletronica de leitura  
-Sinais elétricos digitalizados

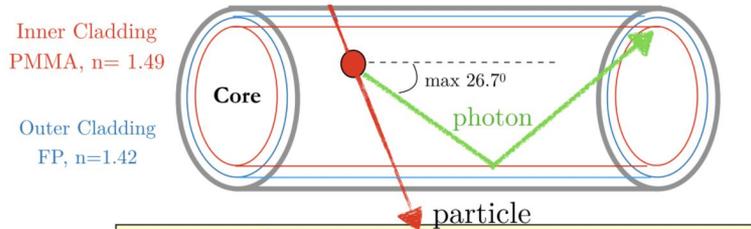
# Tecnologias de Fotodetectores

Tópicos de Física	Motivação → Estudo das propriedades das partículas elementares Meio → Colaborações/Experimentos internacionais
Técnicas de Detecção	Cintilação em Fibras e em Argônio Líquido Cherenkov em água
Tecnologia em desenvolvimento	SiPM Fibras Cintilantes Finas ARAPUCA - X-ARAPUCA - C-ARAPUCA Wavelength Shifters Filtros Dicroicos Materiais para purificação de Argônio Líquido

# Fibras Cintilantes Finas e SiPMs

## Upgrade no sistema de tracking do Experimento LHCb

SciFi - novo sistema de tracking do experimento **LHCb** baseado em fibras cintilantes



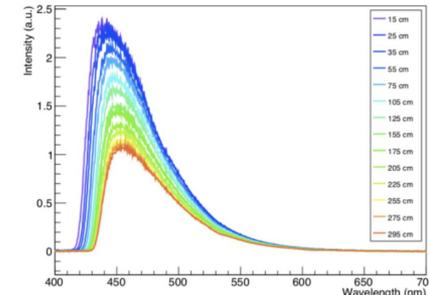
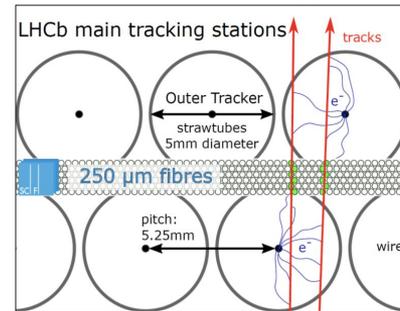
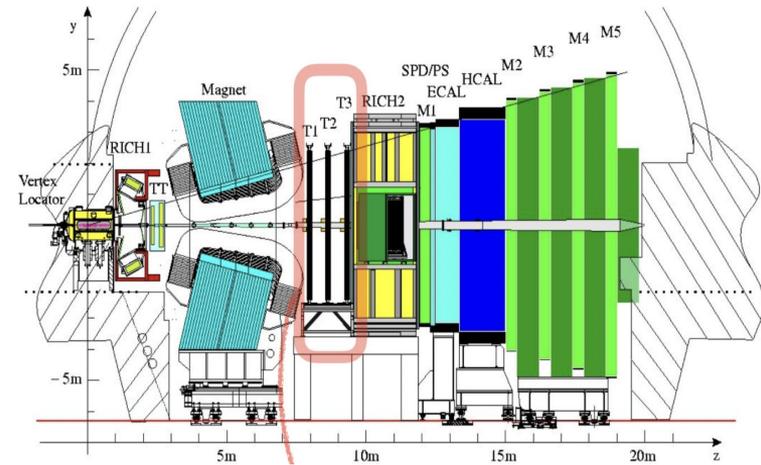
Aumenta a segmentação no outer tracker  
Preserva a resolução espacial no inner tracker

Fibra poliestireno dopada com PTP + WL

Espectro de emissão de PTP em torno a 350nm

Comprimento da fibra  $\rightarrow$  2,5m

Readout - SiPM (Hamamatsu S13552)

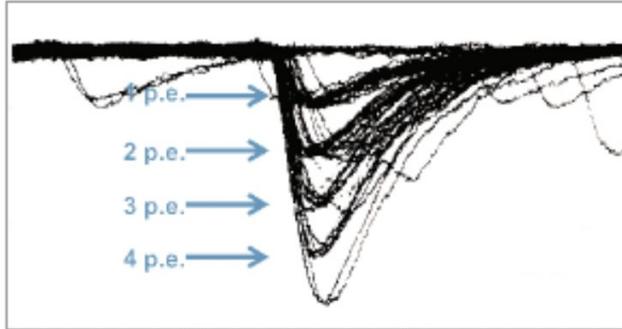


emission spectrum @ length

# Fotomultiplicador de silício

Avalanche de carga em fotodiodo → nova (~30 anos) vedete dos fotosensores

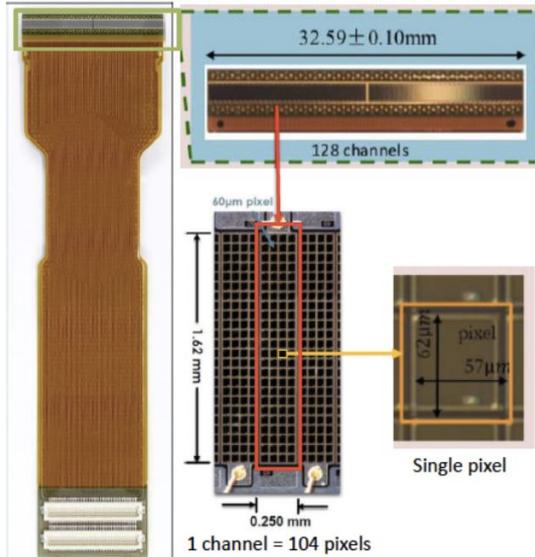
carga discretizada → Modo Geiger  
 contador de fótons  
 sensibilidade a poucos fótons



empresas: Hamamatsu (colaboração com LHCb → CBPF), Ketec, AdvanSid, Broadcom, Phillips

dimensões reduzidas e preços competitivos comparado a PMTs

várias geometrias:  
 single, array, matriz



SiPM array + Kapton flex-PCB

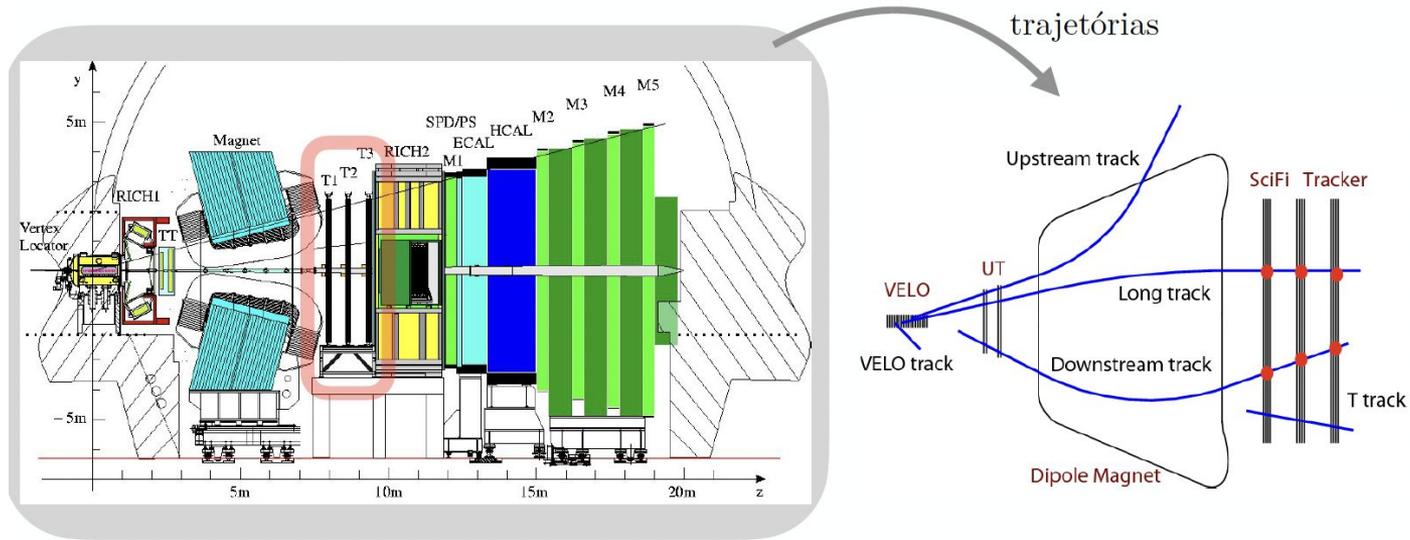
MPPC array S13552

Desenvolvido exclusivamente para o experimento LHCb

[https://www.hamamatsu.com/eu/en/product/optical-sensors/mppc/mppc\\_array/S13552.html](https://www.hamamatsu.com/eu/en/product/optical-sensors/mppc/mppc_array/S13552.html)

# Novo sistema de trajetografia do LHCb

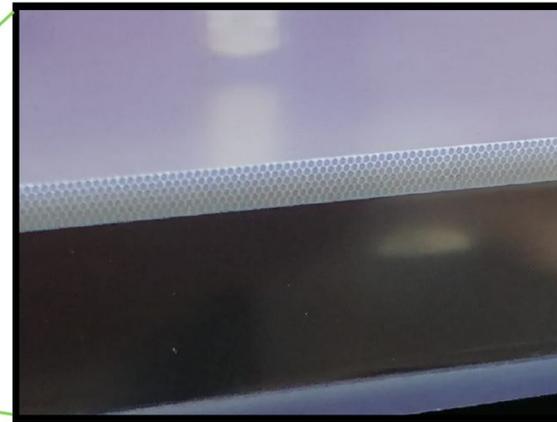
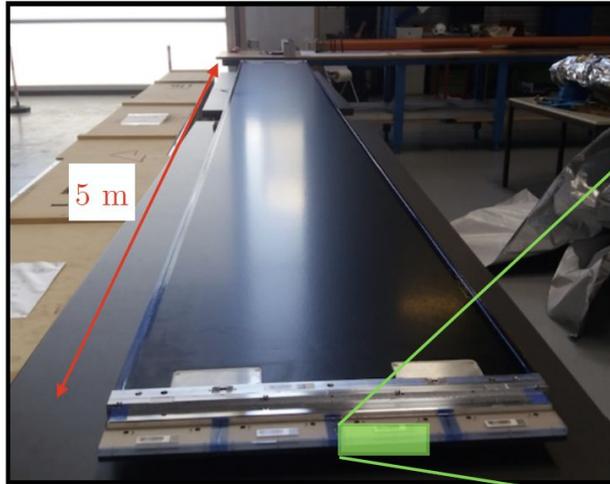
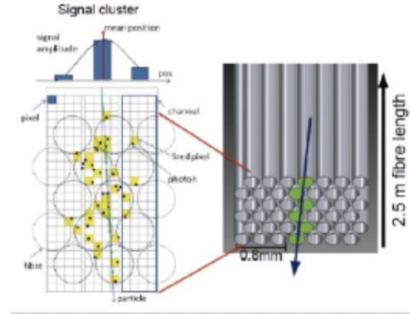
\* Medida precisa de posição de partículas carregadas: reconstrução da trajetória.  
Espinha dorsal de experimentos de Física de Partículas.



Upgrade LHCb/CERN: Maior detector de alta precisão já construído utilizando tecnologia de fibras cintilantes ultra-finas lidas por SiPM.

# Novo sistema de trajetografia do LHCb

- \* Grande interesse do indústria Médica:  
**Imageamento**
- \* Maiores áreas por menor preço e com menor espalhamento de partículas, se comparado com tecnologia usual de Silício.



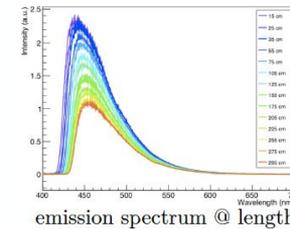
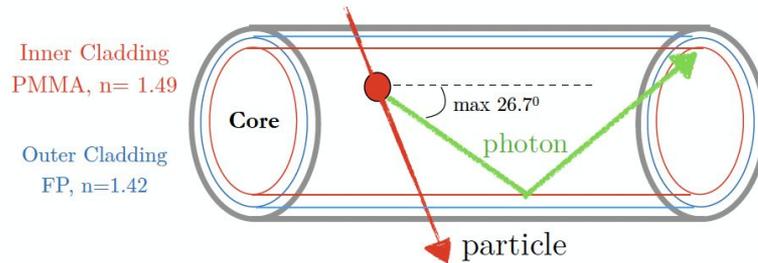
● Resolução espacial de  $\sim 70$  microns e eff de  $\sim 99\%$ . Clusterização na eletrônica

# Novo sistema de trajetografia do LHCb

\* Maiores desafios: tecelagem de precisão, qualidade da fibra e sensibilidade dos foto-sensores a poucos fótons.



275  $\mu\text{m}$  pitch



emission spectrum @ length

PTP: mesmo WLS usado no PDS DUNE

double cladded round fibres **Kuraray SCSF-78MJ** solvent Polystyrene, activator PTP and WLS

# Novo sistema de trajetografia do LHCb

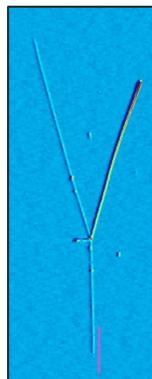
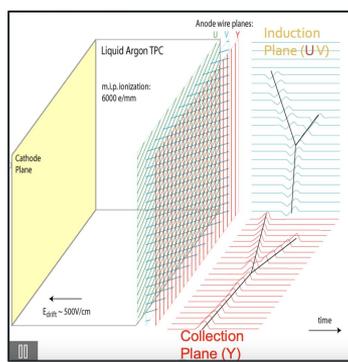
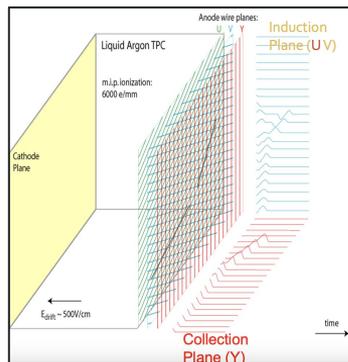
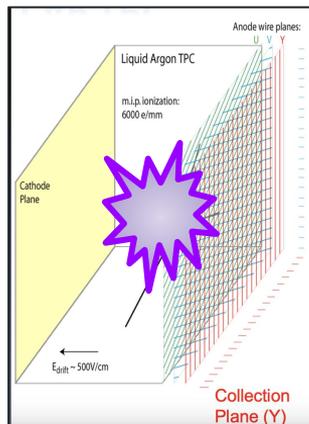
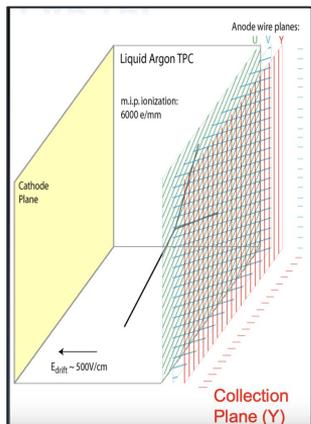
\* Participação ativa de grupo CBPF em todas as etapas, com ênfase na eletrônica: 4 teses defendidas, destaque na visita do ministro C&T ao CERN

Transferência  
Tecnológica



Grande potencial de transferência tecnológica. Estudos já iniciados com protótipo produzido pelo LHCb/CBPF (3x3 cm<sup>2</sup>). Intenção de iniciar produção de módulos com fibras de 1mm no Brasil. Calibração será feita em sistema de trajetografia de  $\delta=200$  microns em construção no CBPF (doação straw-tube do LHCb).

# Detectores de Luz de Cintilação em Argônio Líquido



LArTPC é capaz de medir as interações de neutrinos e outras partículas em tempo real com uma resolução na posição da ordem de sub-milímetros, permitindo assim:

- Reconstrução da **trajetória** da partícula
- Identificação da partícula
- Discriminação **elétron/gamma**

muito além do que qualquer outro método pode oferecer.

Interação (Neutrinos , proton decay)  $\rightarrow$  Fótons VUV  $\rightarrow$  128 nm

Energia alguns MeVs a GeV . (Acelerador, Sol, Supernova, proton decay.

# Fotodetector chamado ARAPUCA

**Aprisionar fótons** produzidos pela cintilação do argônio líquido, **até que estes fótons sejam detectados** pelos **SiPMs** que estão acoplados a este dispositivo.

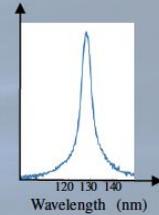
**Filtros Dicroicos + Deslocadores de comprimento de onda**



# ARAPUCA

Liquid Ar

VUV - 128 nm



pTerP UV-A - 350 nm

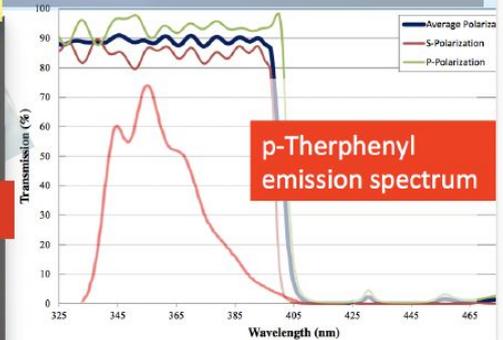
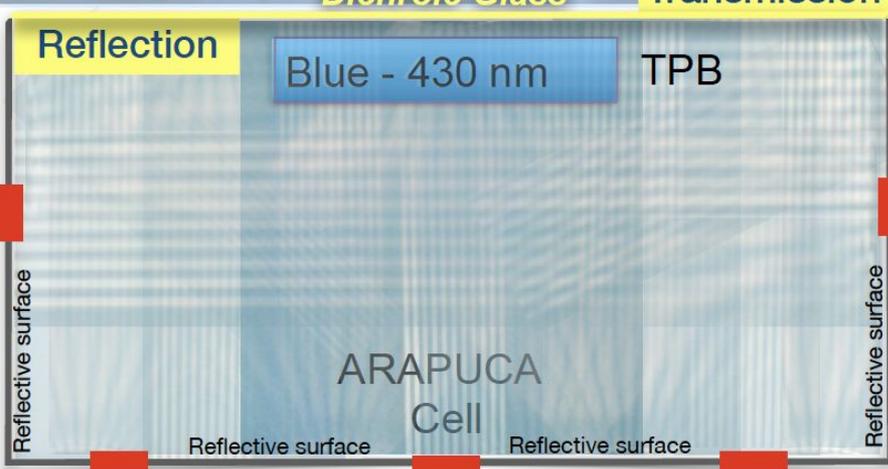
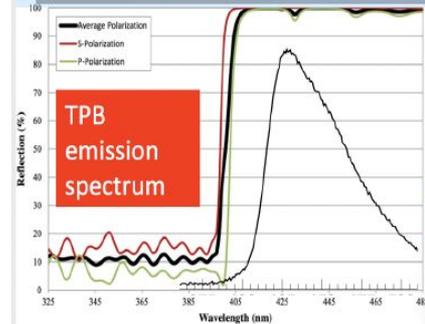
Dichroic Glass

Transmission

Reflection

Blue - 430 nm

TPB

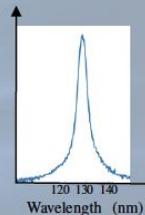


PhotoSensors

# X-ARAPUCA

Liquid Ar

VUV - 128 nm



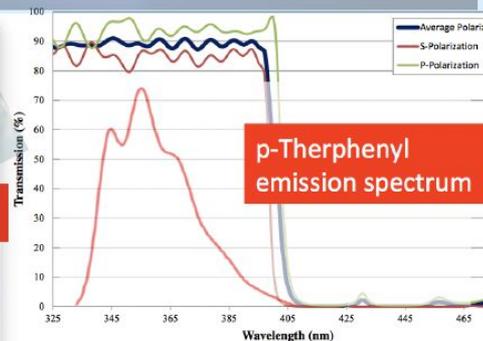
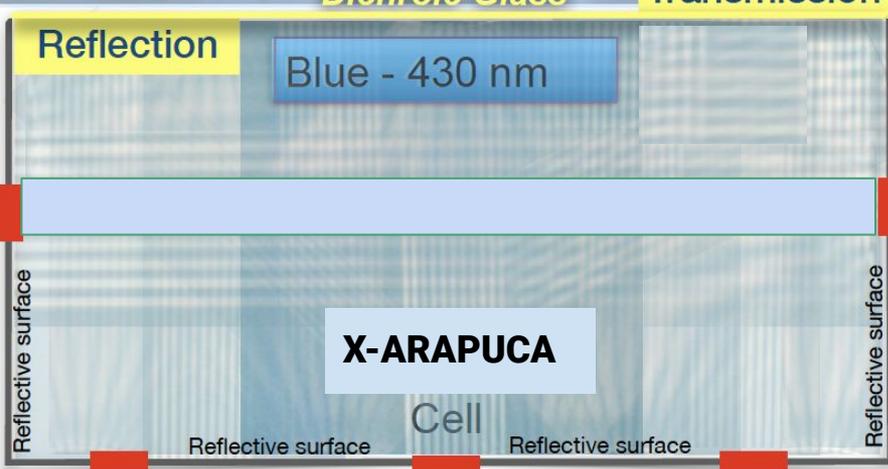
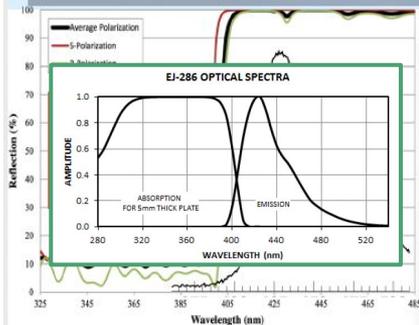
pTerP UV-A - 350 nm

*Dichroic Glass*

Transmission

Reflection

Blue - 430 nm



X-ARAPUCA

Cell

Reflective surface

Reflective surface

PhotoSensors

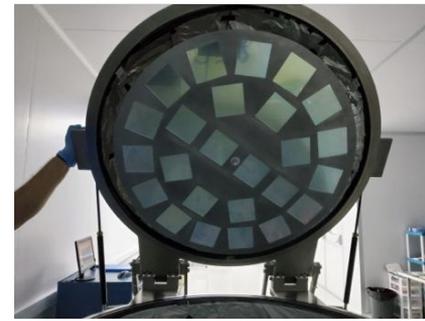
# Pesquisa e Desenvolvimento



- Caracterização de Wavelength Shifters
- Otimização da técnica de deposição
- Desenvolvimento de Filtros dicroicos
- Mídias de purificação do Argônio Líquido
- Desenvolvimento de Software (Simulação e Análise)
- Produção de protocolos e controle de qualidade



# Pesquisa e Desenvolvimento



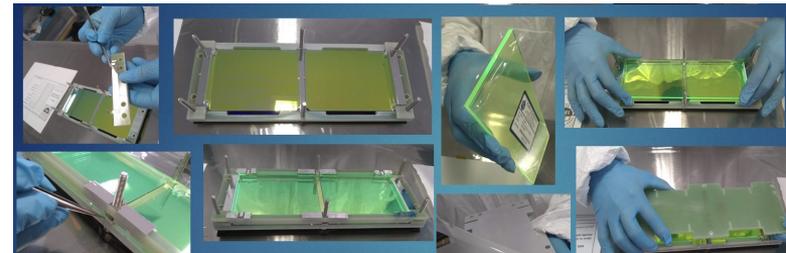
## Experimento DUNE

- 160 supercelulas de X-ARAPUCA montadas no Laboratório de Leptons (UNICAMP)
- Desenvolvimento e construção de um setup criogênico para testar novos materiais para a purificação do Argônio Líquido (UNICAMP-UFSC – CBPF - Equatorial)
- Construção de monitores de pureza
- Estudo de nova geometria da X-ARAPUCA proposta para o segundo modulo (vertical drift) e simulação (UNICAMP-UTFPR-UFABC-UFSC)



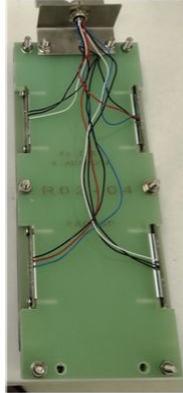
## Experimento SBND

- 200 X-ARAPUCA modules foram inteiramente produzidos montados (UNICAMP-CTI) e enviados ao FERMILAB
- Eletrônica de leitura APSAIA, calibrada e testada

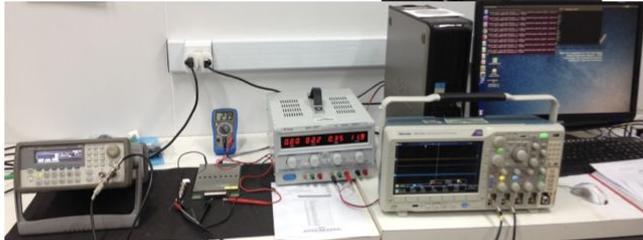
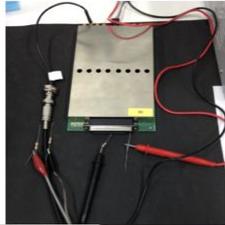




X-RAPUCA modules for SBND



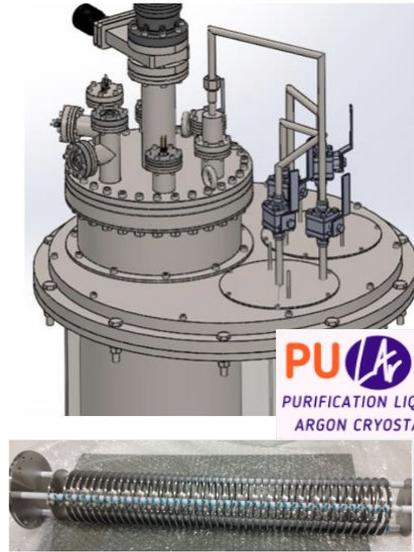
Test on APSAIA front-end



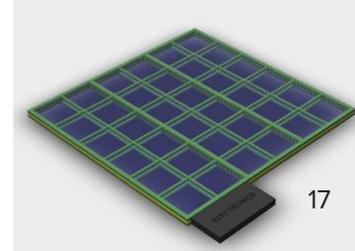
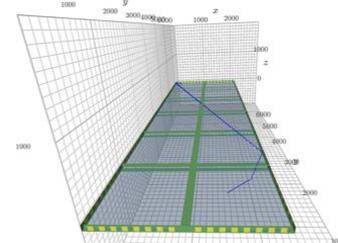
X-ARAPUCA supercell  
DUNE first module



Cryostat for media tests



Simulation and conceptual Design for DUNE second module





Óptica  
 Ciência de Materiais  
 Detectores Cerenkov



# Detectores Cerenkov → C-Arapuca



O **C-Arapuca** é um X-Arapuca desenvolvido especialmente para detectar fótons emitidos pela **radiação Cerenkov em água**.

As particularidades do C-Arapuca são:

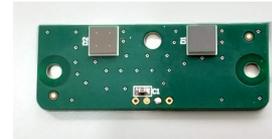
- Detecção no espectro Cerenkov (entre 300 nm e 400 nm)
- Vantagem → Não há a necessidade de deposição de WLS na parte externa do filtro
- Desafio tecnológico → Funcionamento dos SiPM em água.



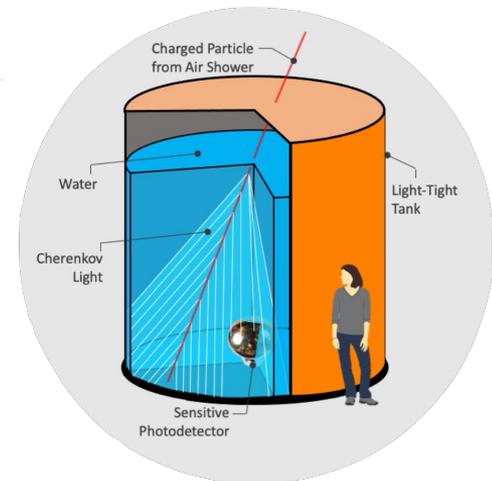
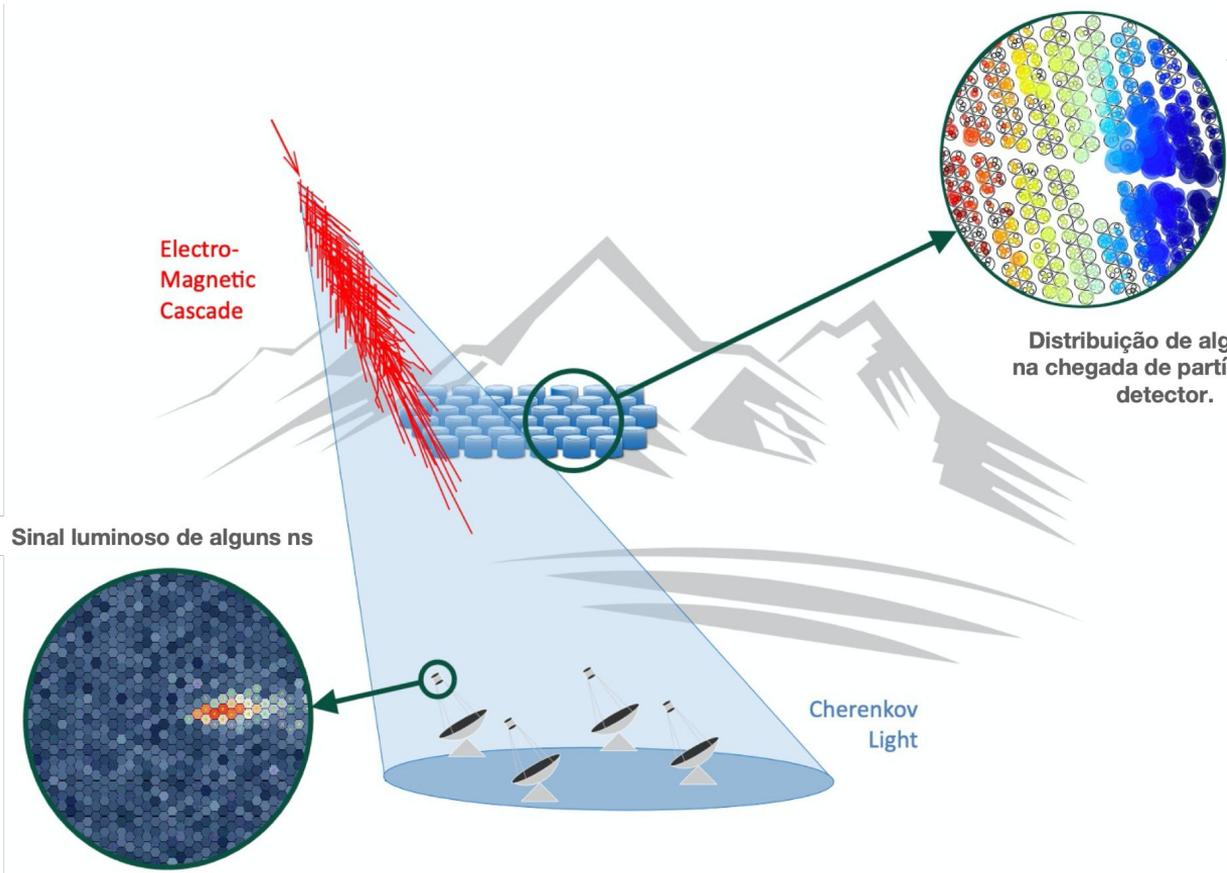
Aplicações

- Próxima geração de experimentos Cerenkov - **LAGO, SWGO...**
- Clima espacial
- Efeito da Anomalia do Atlântico Sul

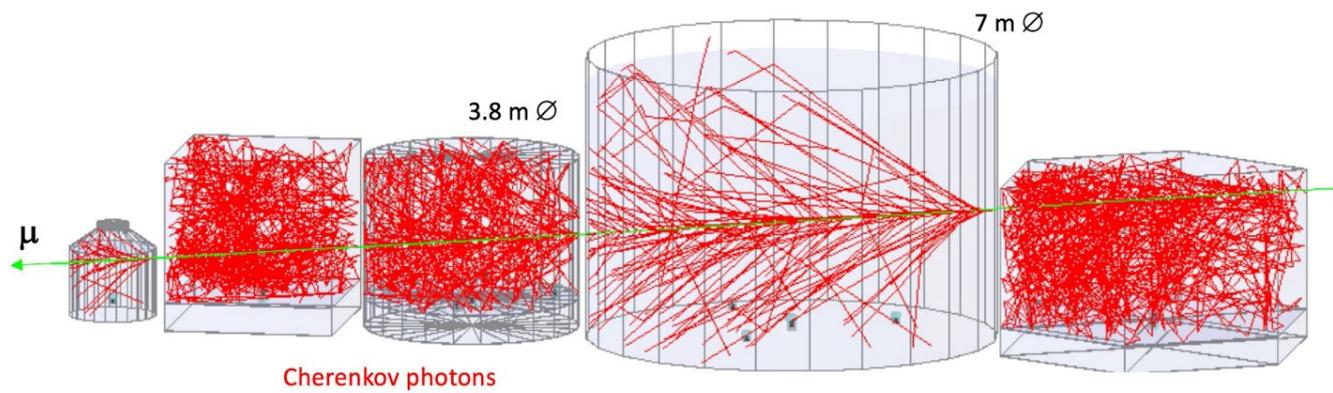
**Atualmente um protótipo está sendo testado** em um tanque de 200lt de água deionizada no Laboratório de Léptons na Unicamp



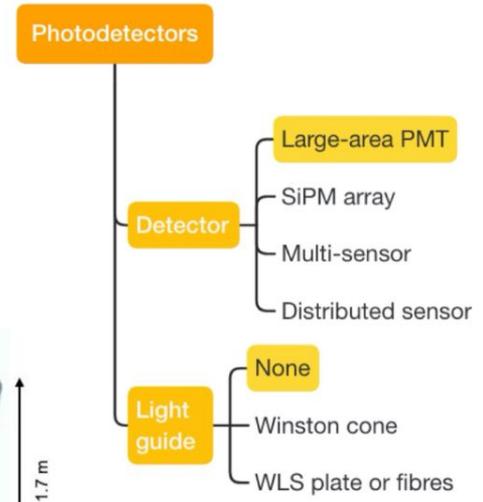
# Duas técnicas complementares para a detecção Cherenkov



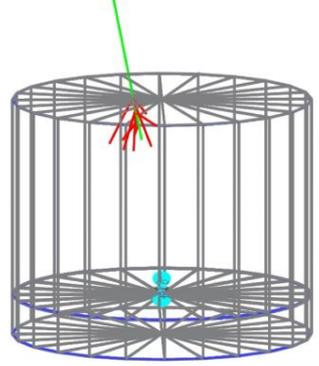
# Simulação / otimização do design dos tanques



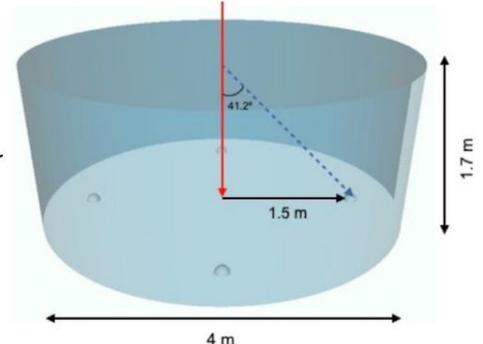
## Opções Design



## Identificação dos muons é elemento fundamental para separação gama/hadron — propostas alternativas:



**Double layer units**  
 Duas camadas para detecção da componente EM e muônica



**Multi-PMT units**  
 Identificação dos muons pela assimetria na distribuição de luz Cherenkov direta

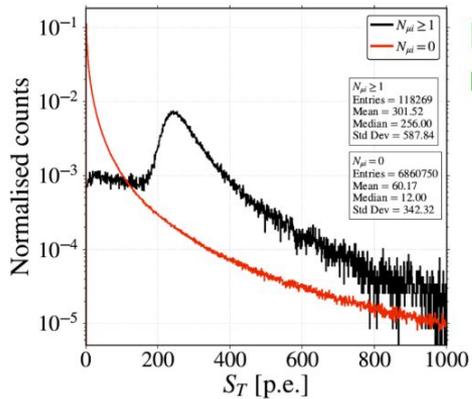
# Performance das unidades multi-PMT

$E \sim 1 \text{ TeV}; \theta \sim 10^\circ$

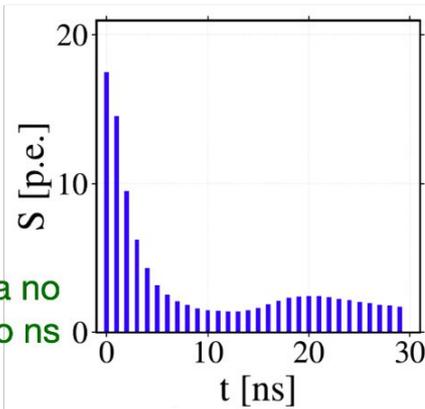
Empresa Brasileira



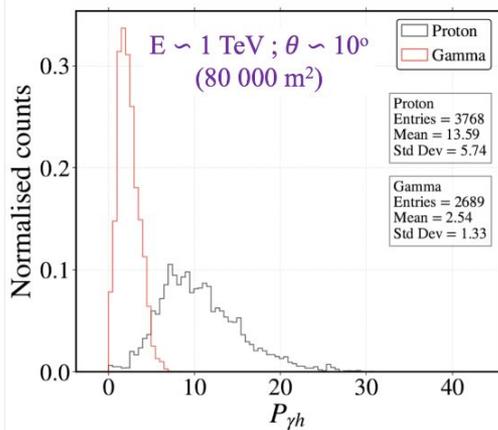
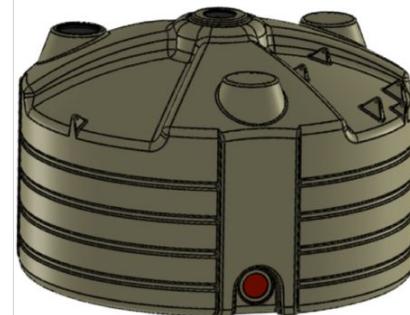
Rotoplastyc



No de p.e. (VEM)  $\sim 270$   
muito confortável



Luz direta chega no primeiro ns



$$P_{\gamma h} = \sum P_{\mu i}$$

$P_{\mu i}$  = Probabilidade de que existe pelo menos 1 múon (ou partícula de alta energia na estação i



# RPC para a caracterização de protótipo



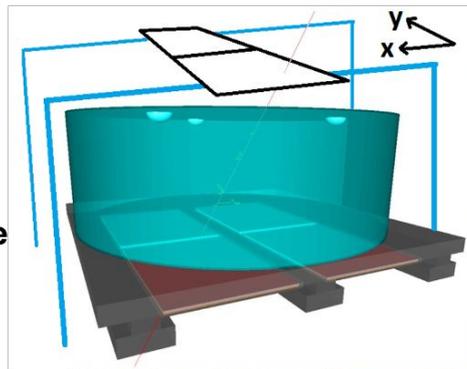
## Set-up híbrido para caracterização dos tanques WCD:

Hodoscópio RPC

4xRPCs Plano Inferior (256 PADs)

2xRPCs Plano Superior, com offset X programável

Tanque WCD no centro (20m<sup>3</sup> de água),  
instrumentado com 3 PMTs.



## Set-up usado para caracterizar:

- Estações MARTA (Auger)
- Detector WCD protótipo para SWGO
- C-ARAPUCA
- Set-up de hidrofones



# Detalhes da RPC



❑ Detetores RPC detectors para ambientes externos

Operação em modo avalanche

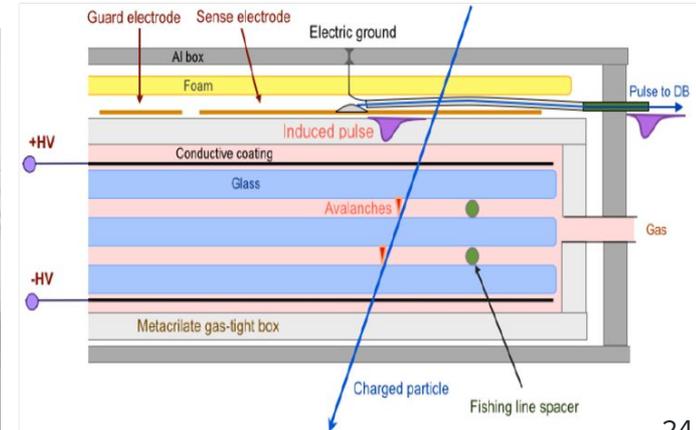
Baixo percentual de streamers

2 GAPS

Baixo fluxo de gás (2CC/Minuto)



Montagem dos detetores no Laboratório de Desenvolvimento de Detetores do CBPF - Laboratório Neusa Amato



# Grupos Brasileiros envolvidos em fóton detecção

UNICAMP

CBPF

UTFPR

USP

UFSCAR

UNIFAL

UFABC

UNIFESP

## Financiamento Brasileiro



## Experimentos

DUNE

SBND

LHCb

LAGO

SWG0

AUGER

CTA

COSINE

CONNIE

ANGRA